



DENSIDAD

Exoplanetas
Taller número 4.2

NOTAS PARA EL PROFESOR

Objetivo: Calcular la densidad de un planeta a partir de parámetros conocidos y entender el fenómeno de migración planetaria.

Edad recomendada: de 12 a 18 años

Resumen de las actividades:

1. Se empieza con un experimento fácil y visual sobre densidades para observar cómo líquidos de menor densidad tienden a situarse por encima de otros de mayor densidad.
2. Seguidamente, se comparan densidades y distribución planetaria de nuestro Sistema Solar y otros exosistemas estudiados.
3. Se introduce el concepto de migración planetaria.

Temporización: 1h 50 minutos

Contenidos curriculares:

1. Teorías y hechos experimentales.
2. Fases de una investigación. Diseño de un procedimiento experimental

Competencias científico-técnicas:

- ✓ Competencia 1:
Identificar y caracterizar los sistemas físicos y químicos desde la perspectiva de los modelos, para comunicar y predecir el comportamiento de los fenómenos naturales
- ✓ Competencia 4:
Identificar y resolver problemas científicos susceptibles de ser investigados en el ámbito escolar, que impliquen el diseño, la realización y la comunicación de investigaciones experimentales.
- ✓ Competencia 6:
Reconocer y aplicar los procesos implicados en la elaboración y validación del conocimiento científico

Metodología didáctica:

- trabajo en grupo,
- co-evaluación,
- aprendizaje basado en proyectos,
- uso de las tecnologías de la información y comunicación

Recursos:

- Ordenador del profesor con acceso a internet y proyector
- Ordenadores de los alumnos con acceso a internet.

- Vaso de cristal, 25 ml. de miel, 25 ml. de agua con colorante rojo, 25 ml. de aceite, 25 ml. de alcohol
- Balanza(s) para pesar personas



Lecturas recomendadas:

Para alumnos:

- Experimento sobre densidades:
<https://www.youtube.com/watch?v=ZHBozMYbMXA>
- Noticia sobre planeta esponjoso
<https://www.universetoday.com/11564/large-fluffy-planet-darkens-a-distant-star/>

Para profesores:

- Tabla de densidades: <http://didactica.fisica.uson.mx/tablas/densidad.htm>
- Tasker, E.; The planet Factory; Ed. Bloomsbury; 2017
- Gráfica de densidades de exoplanetas
http://www.hpcf.upr.edu/~abel/phl/hec_plots/exoplanet_df.png
- K. Tsiganis et al.; Origin of the orbital architecture of the giant planets of the Solar System; Nature; 2005
<https://www-n.oca.eu/morby/papers/nature-papers-5-26-05.pdf>

- **Datos de entrada para la propuesta gamificada:** Masa y radio del exoplaneta.
- **Datos de salida para la propuesta gamificada:** Densidad del exoplaneta, tipo de exoplaneta.
- **Insignia:** Excentricidad



TALLER

INTRODUCCIÓN:

Tiempo: 30 minutos.

Contenido: Conectar con conocimientos previos de los alumnos

La actividad empieza con un experimento sobre densidades: en un vaso de cristal se vierten con cuidado los siguientes ingredientes (se recomienda verterlos por las paredes del vaso), por este orden:

1. 25 ml. de miel,
2. 25 ml. de agua con colorante rojo,
3. 25 ml. de aceite,
4. 25 ml. de alcohol

El resultado debería ser similar al de la imagen, que muestra las diferentes fases que se han formado debido a las diferentes densidades.



A continuación, se pide a la mitad de alumnos de la clase que, según su intuición, ordenen de mayor a menor densidad los planetas de nuestro Sistema Solar. La otra mitad de la clase investigará por su cuenta en Internet. Se comentarán los resultados para ver que, seguramente, no coinciden.

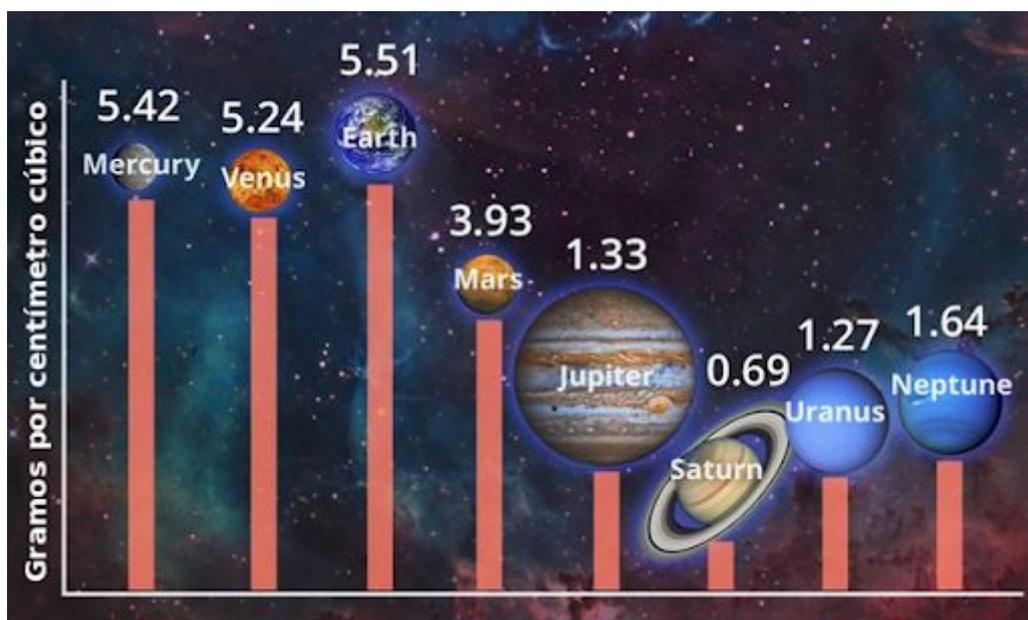
DESARROLLO

Tiempo: 60 minutos.

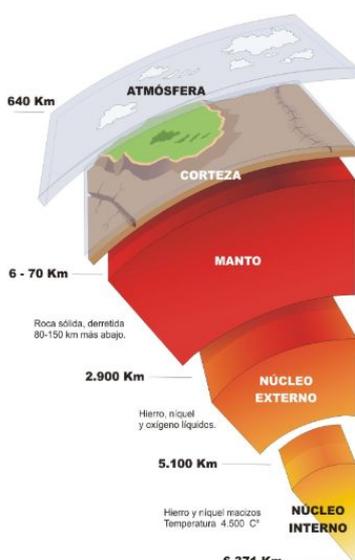
Contenido: Comparación de densidades y cálculo de la densidad

La siguiente imagen muestra claramente que la Tierra es el planeta más denso de nuestro Sistema Solar y que por el contrario, Saturno es el menos denso. Se pide a los estudiantes que tracen líneas sobre la imagen para delimitar las siguientes densidades:

1. Agua 1 g/cm^3
2. Hormigón 2 g/cm^3
3. Hierro $7,8 \text{ g/cm}^3$



A pesar de la gráfica anterior, es importante conocer que el dato de la densidad se refiere a la media del planeta. En el caso de la Tierra se sabe que está formada por las siguientes capas:



→ Núcleo: Compuesto por Fe y Ni y densidad muy superior a las otras capas. A su vez, se divide en dos subcapas.

→ Manto: Compuesto por silicatos de Fe y Mg. Principalmente en estado sólido, a pesar de presentar cierta plasticidad.

→ Corteza: Compuesta por silicatos de Na, K, Al, Ca. Es la capa menos densa, más fina y muy irregular. Su espesor varía entre 5 km hasta más de 70 km.

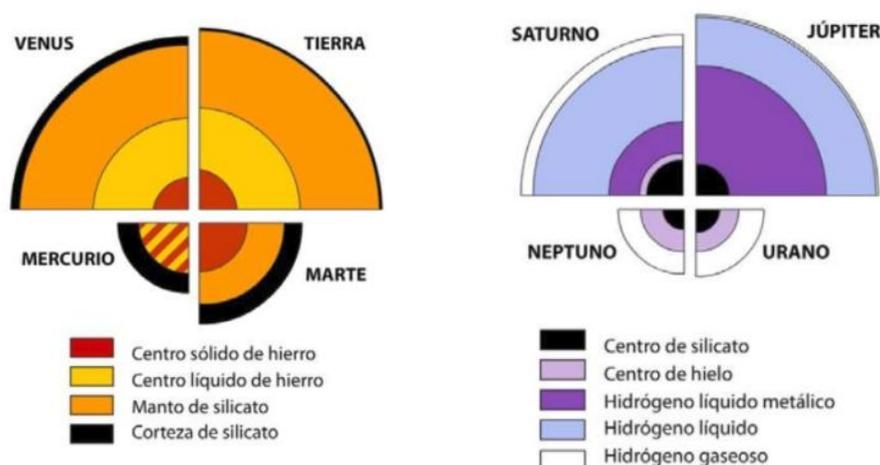
Con otro experimento, modelaremos la estructura de la Tierra. Se necesita:

- Medio puñado de clavos pequeños
- 3 cucharadas de agua
- 4 cucharadas de vaselina
- Colorante marrón
- Fuente de calor, rejilla y soporte
- Vaso de precipitados de 100 ml
- Cazuela de altura suficiente para el vaso de precipitados
- Trocitos de corcho

Seguimos los siguientes pasos:

1. Poner los clavos, el agua, la vaselina y el colorante en el vaso de precipitados de 100 ml
2. Remover muy bien los ingredientes para que queden distribuidos homogéneamente.
3. Encender el fuego, colocar una rejilla encima con un soporte y colocar la cazuela encima. A continuación llenar la cazoleta con agua suficiente para cubrir el vaso de precipitados.
4. Colocar el vaso con la mezcla al "baño maría" en la cazuela hasta que la vaselina empieza a fundirse. En este punto añadir el corcho a la mezcla, dentro del vaso de precipitados.
6. Retirar el vaso y dejar enfriar.
7. Cuando la vaselina está casi sólida, pero con cierta movilidad es cuando tenemos el modelo de la estructura de la Tierra.

No todos los planetas tienen la misma estructura. Se estima que las capas de los demás planetas del Sistema Solar son las que se muestran:



Mientras los planetas interiores comparten en común el núcleo de hierro y el manto y corteza de silicato, los planetas exteriores poseen un núcleo de silicato y un manto de hidrógeno.

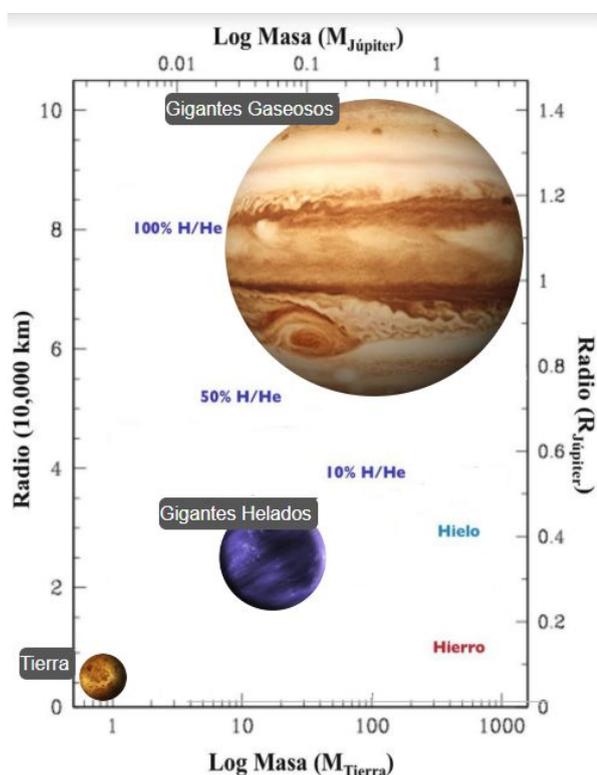
Calcularemos ahora la densidad media del exoplaneta en estudio sabiendo que la densidad se obtiene mediante la fórmula $\rho = \frac{M}{V}$ y, que, por otra parte, el volumen de una esfera es $V = \frac{4}{3}\pi R^3$

A continuación, situados en la [web del proyecto](#), entramos en la sección de *Exoplanetas* -> *Densidad* e introducimos los datos de masa y radio del planeta buscado. Hay que tener en cuenta las unidades que se piden al introducir los datos. Al pulsar el botón de Calcular, algún planeta del gráfico de la izquierda parpadeará para mostrar qué tipo de planeta es.

Masa (M terrestre)

Radio (Km)

Calcular densidad del planeta



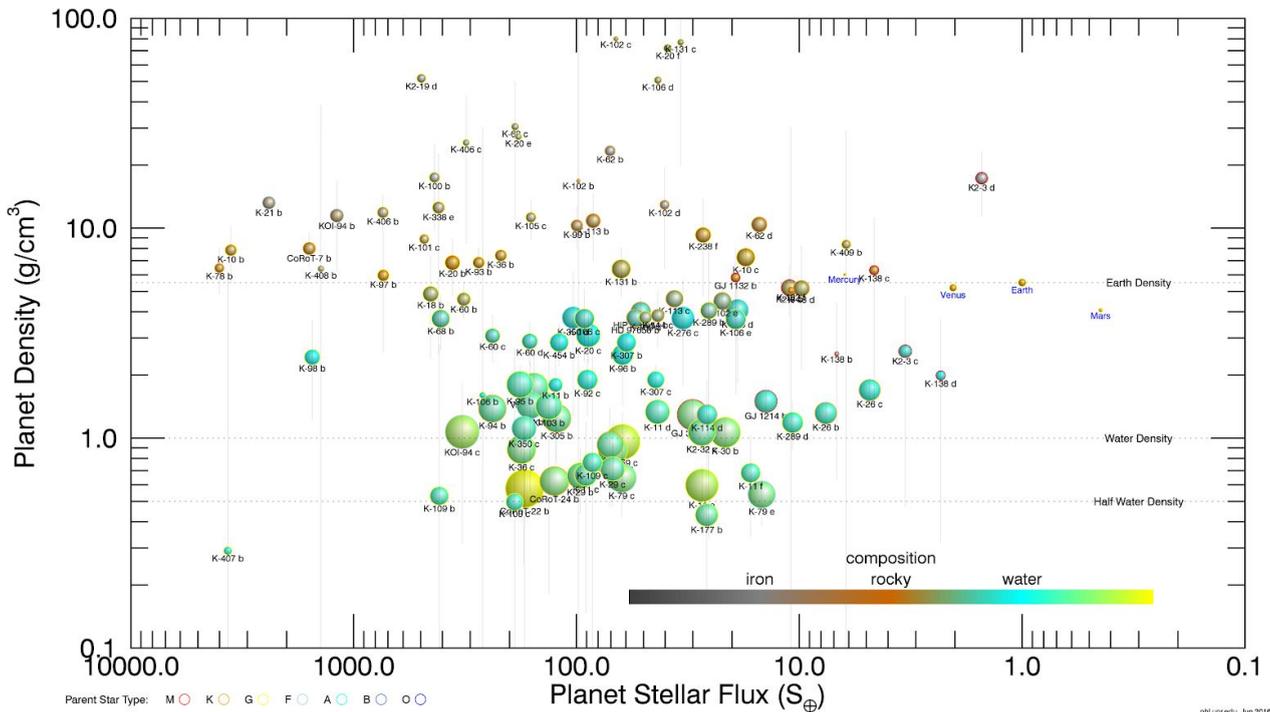
Como se observa, los **gigantes gaseosos** como Júpiter están formados mayoritariamente por H y He, aunque pueden tener un núcleo metálico o rocoso, necesario para su formación. En nuestro Sistema Solar, Júpiter y Saturno son gigantes gaseosos y son los primeros planetas en formarse. También son los exoplanetas más comunes, seguramente debido a un sesgo observacional, es decir que al ser los más grandes, son más fáciles de observar.

Los **gigantes helados** contienen muy poco hidrógeno líquido, a diferencia de los gaseosos. En nuestro Sistema Solar son Neptuno y Plutón.

Por último, los **planetas rocosos**, también llamados telúricos, muestran una superficie compacta rocosa, están compuestos mayoritariamente por silicatos y su núcleo es de hierro. Son Mercurio, Venus, la Tierra y Marte.

En nuestro Sistema Solar, la densidad de los planetas decrece a medida que se alejan del Sol. Como se ha visto, los 3 planetas interiores presentan densidades mayores que 5 g/cm³, Marte aproximadamente 4 g/cm³ y los planetas gaseosos ligeramente mayores que la densidad del agua, que es de 1 g/cm³ a excepción de Saturno con la menor densidad de todos: 0,7 g/cm³. Pero no es así en todos los sistemas planetarios. La siguiente imagen muestra la distribución de densidades según el tipo de estrella (flujo).

La siguiente imagen muestra la distribución de densidades de los exoplanetas descubiertos hasta ahora:



Para ver a mayor resolución: http://www.hpcf.upr.edu/~abel/phl/hec_plots/exoplanet_df.png

Una vez conocida la densidad, podemos deducir la **gravedad superficial**. Sabemos que:

$$F = \frac{GMm}{d^2} . \text{ Con } m = 1 \text{ y } d = R, \text{ tenemos } \Rightarrow g = \frac{GM}{R^2} .$$

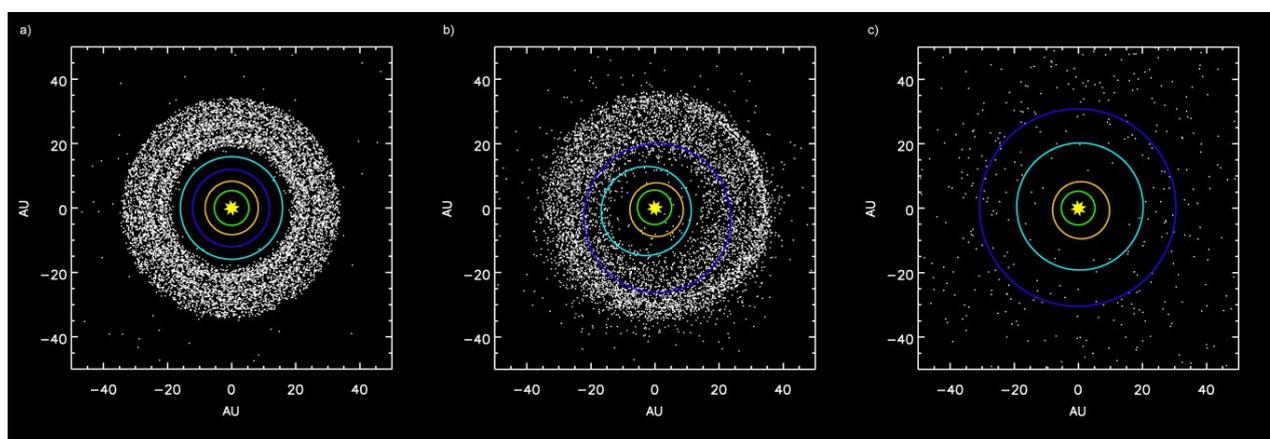
Como $M = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$, sustituimos y obtenemos

$$g = \frac{4}{3}\pi GR\rho$$

Es decir, que podemos conocer la gravedad del planeta conociendo su densidad y radio. Se propone como actividad configurar una o varias balanzas para probar cómo variarían los pesos de los alumnos en diferentes planetas. Por ejemplo:

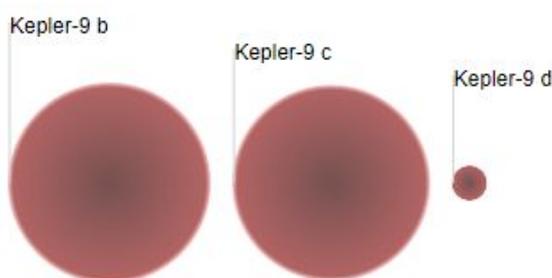
| Planeta | Radio | Densidad | Gravedad real | Gravedad relativa |
|------------|----------|-----------------------|------------------------|-------------------|
| Tierra | 6378 km | 5,5 g/cm ³ | 9,8 m/s ² | 1 |
| Marte | 3397 km | 3,9 g/cm ³ | 3,71 m/s ² | 0,38 |
| Venus | 6052 km | 5,3 g/cm ³ | 0,894 m/s ² | 0,86 |
| Júpiter | 71492 km | 1,3 g/cm ³ | 23,12m/s ² | 2,36 |
| Exoplaneta | | | | |

Simulaciones por ordenador explican que la formación del Sistema Solar pasó por lo que se denomina **migración planetaria**. En el llamado modelo de Niza de formación de nuestro Sistema Solar, el último planeta gigante arrastró gravitatoriamente los infinitesimales exteriores hacia el interior del sistema provocando éstos a su vez el desplazamiento hacia el exterior de Urano, Neptuno y Saturno. Júpiter desplazó a Saturno y éste a su vez, empujó Urano y Neptuno hacia el exterior, provocando el bombardeo intenso tardío. Este modelo, ampliamente aceptado, explica también la formación de la nube de Oort y el cinturón de Kuiper, entre otros fenómenos.

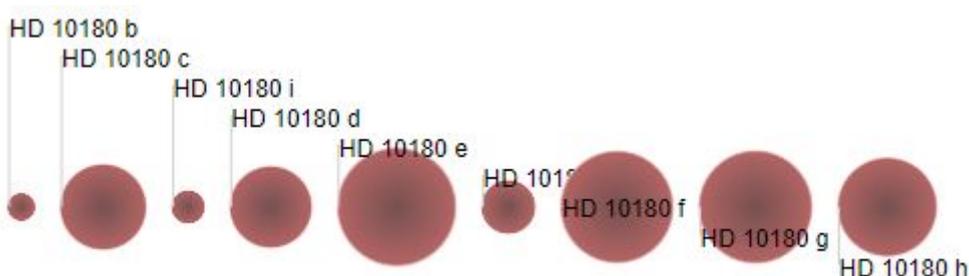


Simulación mostrando los planetas exteriores y el cinturón de planetesimales: a) Configuración inicial; b) Dispersión de los planetesimales en el sistema solar interior después del cambio orbital de Neptuno (azul oscuro) y Urano (azul claro); c) Tras la eyección de los planetesimales por los planetas.

Así pues, cada sistema planetario es distinto: por ejemplo, el sistema [Kepler 9](#) tiene 3 planetas, de los cuales los 2 últimos son gigantes gaseosos del tamaño de Saturno, y el primer planeta mide 1,6 Tierras. En el siguiente esquema la estrella Kepler 9 queda a la izquierda.



Por otra parte, la estrella [HD 10180](#) tiene como mínimo 7 planetas confirmados más 2 posibles superTierras calientes(i, j). Todos los demás planetas están también muy cerca de su estrella, siendo del tamaño de Neptuno



Deberes

1. Investigar los tipos de planeta que hay según el [enlace](#) y rellenar la siguiente tabla con una imagen y un planeta de ejemplo. Ampliar la tabla con un tipo de planeta más.

| Tipo de planeta | Imagen | Nombre |
|------------------|--------|--------|
| Planeta rocoso | | |
| Gigante gaseoso | | |
| Gigante helado | | |
| Júpiter caliente | | |
| Supertierra | | |
| ... | | |

CONCLUSIÓN:

Tiempo: 20 minutos

Contenido: Resumen de lo aprendido

- En equipos, los estudiantes preparan juegos-cuestionarios para los demás equipos en el sitio web <https://quizlet.com/>



Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)